

8. Arvutivõrgud

ITI0101 Sissejuhatus Infotehnoloogiasse

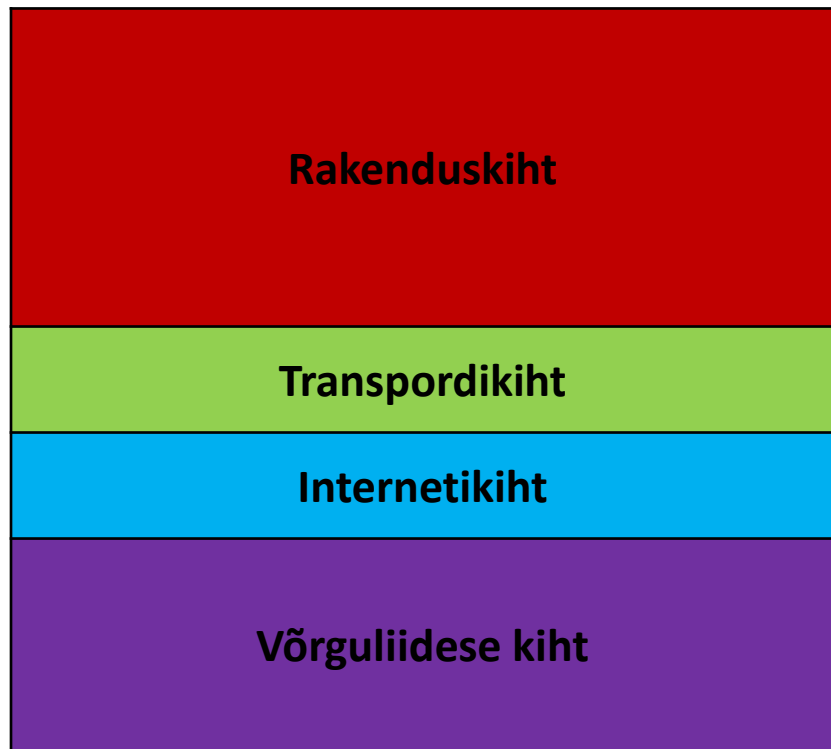
Ivo Mürsepp

Arvutivõrgud

- 11. september 1940 – suhtlus arvutiga üle teletaibi.
- Terminaliühendus arvutiga – 1950'ndad.
- 5. detsember 1968 – ARPANET (neli võrgusõlme)
 - 1981 aastal 213 sõlme
 - Esimene väljaspool USA-d 1973 (Norra)
- Juuli 1976 - Ethernet
- September 1981 – IPv4 ja TCP protokollid.
- 1982 – SMTP – e-post
- Mai 1996 – http 1.0
- 2003 - VoIP



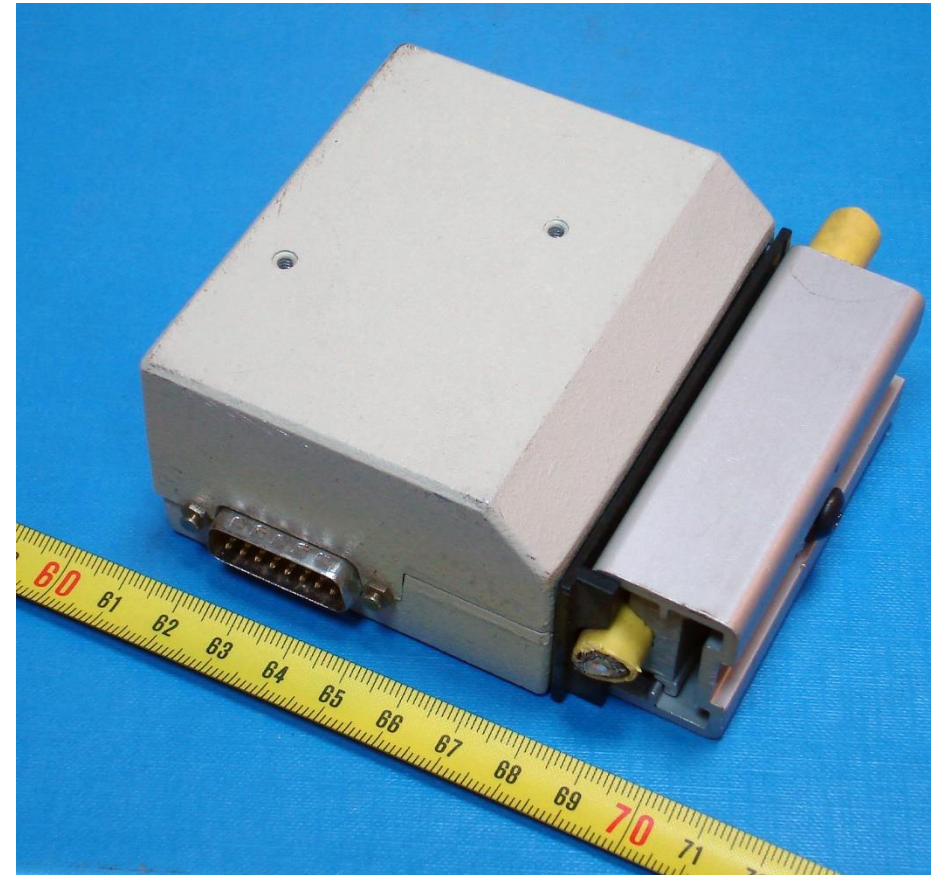
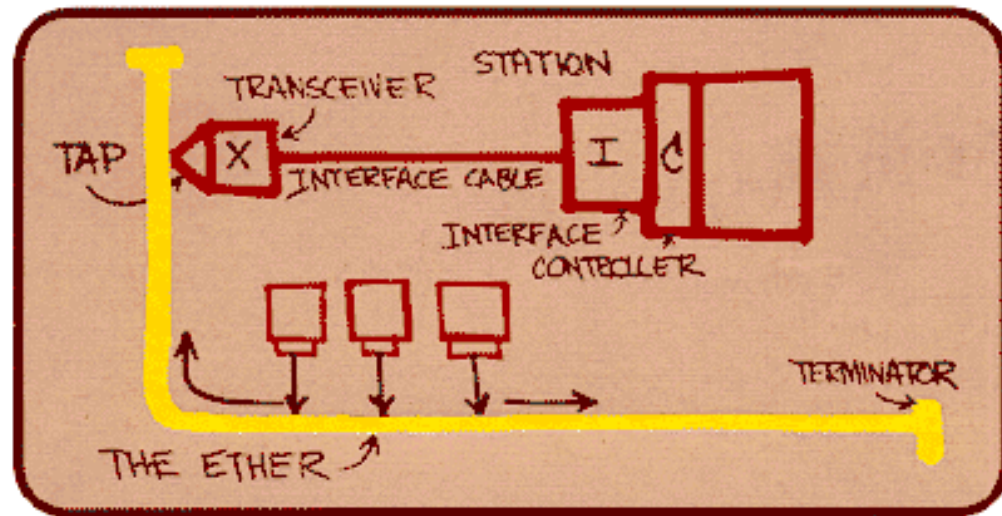
TCP/IP mudel



- Keerukam süsteem jaotatud lihtsamateks osadeks – kihtideks.
- Alumine kiht pakub ülemisele teenuseid.
- Andmeühik PDU (*Protocol Data Unit*)
 - Kanalikihi kaader
 - Võrgukihi pakett (datagramm)
 - Transpordikihi segment (või datagramm)
- Teenuse juurdepääsupunkt SAP (*Service Access Point*).
 - Kanalikihi LSAP
 - Transpordikihi port

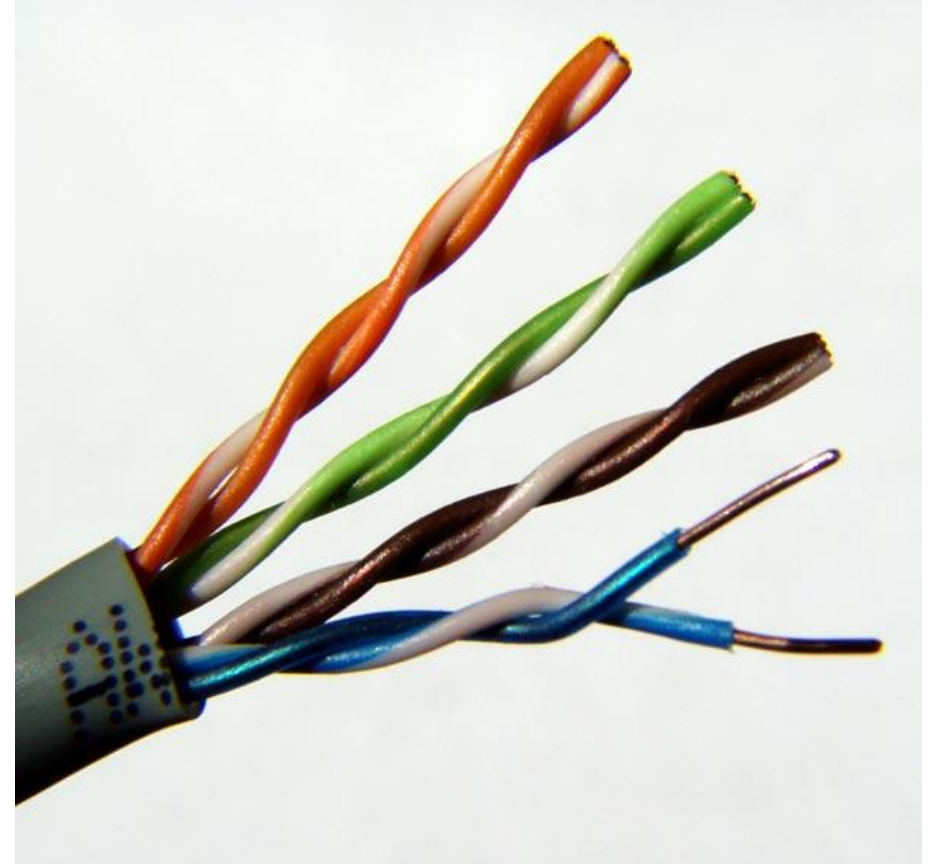
Ethernet

10BASE5 Robert M. Metcalfe



Füüsiline kiht - Ethernet

- Meediumiks keerdpaar
 - UTP, STP
 - Cat 5e, Cat 6
- Kaabli maksimaalne pikkus
 - 100m (10BASE-T, 100BASE-TX)



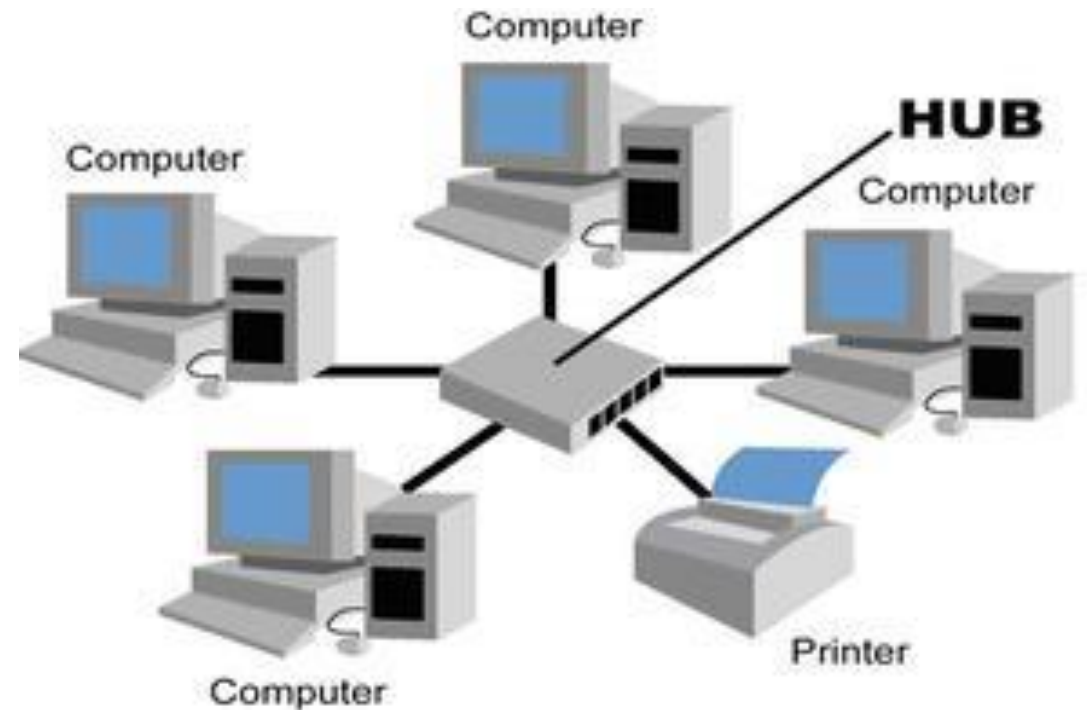
8P8C

- Standardühendus
- Tuntud ka kui RJ45
- Kaks võimaliku ühendusskeemi:
 - T568B
 - T568A
- Otsekaabel (*patch*)
 - Eri tüüpi seadmete ühendamiseks
- Ristkaabel (*crossover*)
 - Sama tüüpi seadmete ühendamiseks
- Auto MDI-X



Füüsiline kiht - Ethernet

- Topoloogia – tähtvõrk
 - Jaotur (*hub*)
 - Kommutaator (*switch*)
- Liinikoodid
 - Manchester
 - 4B5B
 - NRZI
- Pinged
 - 10BASE-T: -2,5 ja 2,5V
 - 100BASE-TX: -1, 0 ja 1V



IEEE 802.3 Etherneti kaader

Eessõna 7 B	SFD 1 B	Sihtkoha MAC aadress 6 B	Saatja MAC aadress 6 B	Pikkus 2 B	DSAP 1 B	SSAP 1 B	Kontroll 1 või 2 B	Andmed 42 ... 1497 B	FCS 4 B
----------------	------------	--------------------------------	------------------------------	---------------	-------------	-------------	-----------------------	-------------------------	------------

- Eessõna (*preamble*) pikkus on 7 baiti (56 bitti) ja see koosneb vahelduvatest ühtedest ja nullidest 101010...10. Eessõna taoline struktuur on mõeldud vastuvõtja kella sünkroniseerimiseks.
- Eessõna lõppu ja kaadri algust tähistab spetsiaalne tähis SFD (*Start of Frame Delimiter*): 1010101**1**.
- Kaadri esimeseks väljaks on sihtkoha MAC aadress.
- Järgneb saatja MAC aadress, mis on vajalik võimaliku vastuse saatmiseks.

IEEE 802.3 Etherneti kaader

Eessõna 7 B	SFD 1 B	Sihtkoha MAC aadress 6 B	Saatja MAC aadress 6 B	Pikkus 2 B	DSAP 1 B	SSAP 1 B	Kontroll 1 või 2 B	Andmed 42 ... 1497 B	FCS 4 B
----------------	------------	--------------------------------	------------------------------	---------------	-------------	-------------	-----------------------	-------------------------	------------

- Kahebaidine pikkuse väli näitab kaadris sisalduva LLC protokoll andmete (*LLC-Protocol Data Unit*) hulka baitides.
- LLC-PDU pikkus võib olla vahemikus 46-1500 baiti.
 - Kui edastatavaid andmeid on vähem kui 46 baiti, siis lisatakse vajadusel täidis (*padding*);
 - Suurem kui 1500 bitine andmehulk edastatakse mitme järjestikuse kaadriga.
- Kontrollkood (*Frame Check Sum*) kaitseb kogu kaadri sisu, alates sihtkoha MAC aadressist, ülekandel tekkivate vigade eest.
- Kahe järjestikuse kaadri vahele jääb vähemalt 12 baidi pikkune vahe (9,6 μ s).

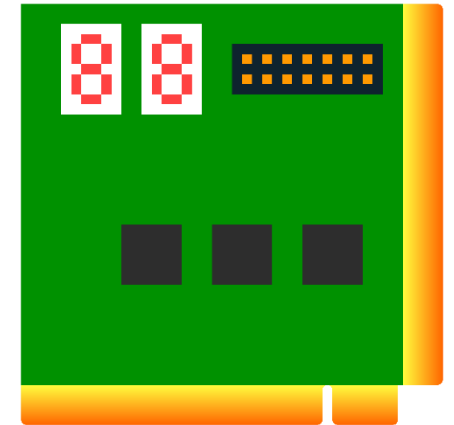
LLC-PDU

- LLC protokoll võimaldab kanali jagamist mitme kõrgema kihi protokoli vahel (multipleksimine).
- Igaühe jaoks saab eraldada oma ligipääsupunkti LSAP (*LLC- Service Access Point*).
- Andmete edastamiseks ühest seadmest teise on kasutusel vastavalt
 - Sihtkoha LSAP ehk DSAP (*Destination SAP*) ja
 - Saatja SLAP SSAP (*Source SAP*).
- Kontrolli väli sisaldab protokollipõhist kontrollinformatsiooni.
- LLC-PDU sisuks (andmeväli) on tavaliselt kas IP pakett või osa sellest.

MAC -aadress



- 48 bitine (kuus baiti ehk **oktetti**)
- Esitlusviisid:
 - 01-23-45-67-89-AB**
 - 01:23:45:67:89:AB
 - 0123.4567.89AB
- Esimese okteti esimene bitt:
 - 0 – globaalselt unikaalne aadress
 - 1 – lokaalselt muudetud
- Multiedastus (*Multicast*):
 - Esimese okteti nullis bitt:
 - 0 - unicast
 - 1 - multicast
- Leviedastus (*Broadcast*):
FF-FF-FF-FF-FF-FF

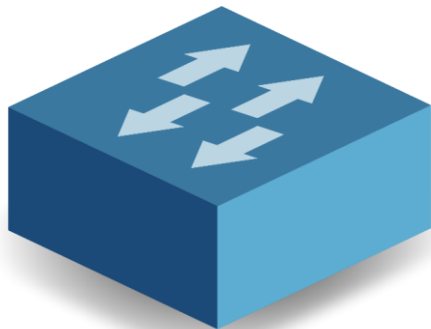


Meediumi jagamine - CSMA/CD

- Kuula, kas keegi teine edastab (meedium vaba ?).
- Kui meedium on vaba, siis edasta kaader.
- Kui meedium ei ole vaba, siis kuula edasi. Alusta kaadri edastamist niipea kui meedium vabaneb. Kuulamist jätkatakse ka edastamise ajal.
- Kui tuvastatakse kokkupõrge (*collision*) siis edasta lühikene teavitussignaali (*jamming*) ja lõpeta seejärel edastus.
- Oota juhuslikult valitud aja (*backoff*) jooksul ja seejärel alusta uuesti esimesest punktist.

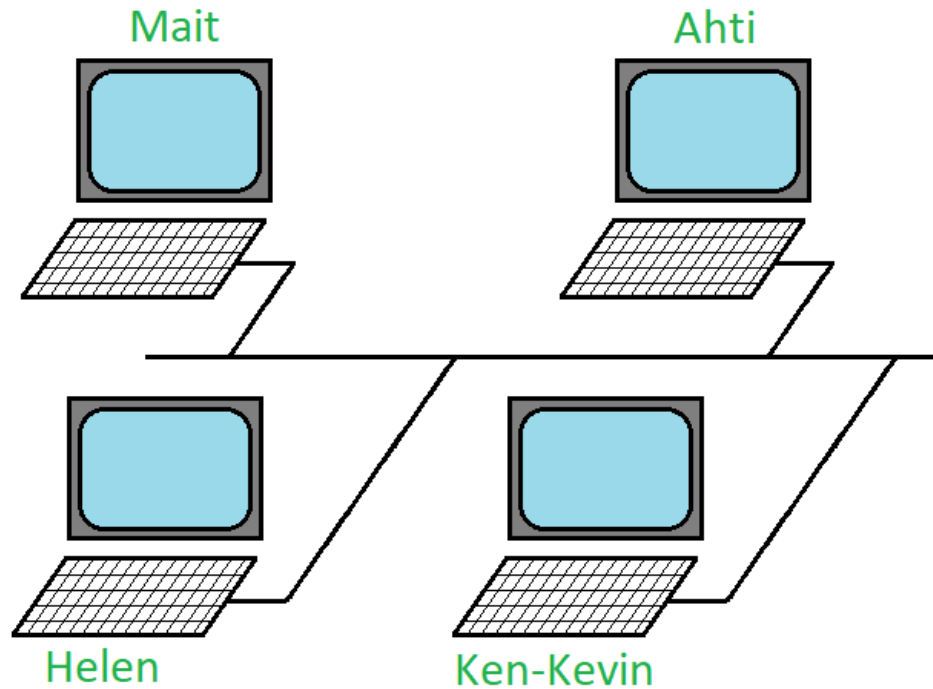
Kommutaator (*switch*)

- Kanalikihi seade
- Eraldab võrgu **põrkedomeenideks** (*collision domain*) ehk **võrgusegmentideks**.
- Suurendab võru kasutamise efektiivsust.
- Võrgu laiendamine.
- Suurendab võrgu töökindlust.

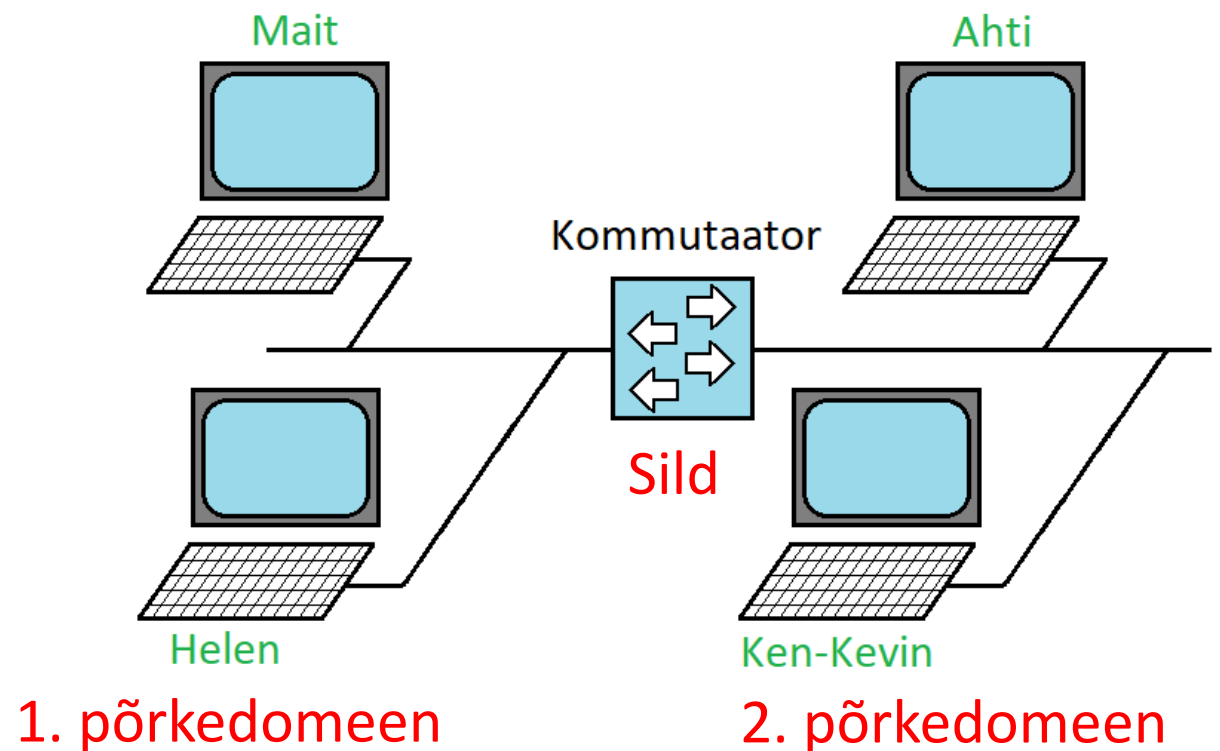


Võrgusegmendid

Üks segment



Kaks segmenti

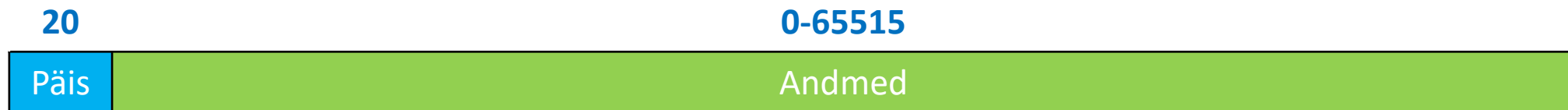


Internetikiht



Internetikiht

- Andmete kohale toimetamine suvalisse võrgusõlme.
- Pakettkommutatatsioon (ühenduseta kanal)
- Loll võrk
- Internetikihi andmekogumit (PDU) nimetatakse paketiks (datagrammiks)
- IPv4 pakett:



IPv4 paketi päis

	okt	0								1								2								3							
okt	bitt	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
0	0	Version				IHL				DSCP				ECN		Kogupikkus																	
4	32	Identifitseerimine															Lipud		Fragmendi nihe														
8	64	TTL								Protokoll							Päise kontrollsumma																
12	96	Saatja IP aadress																															
16	128	Sihtkoha IP aadress																															
20	160	Valikulised väljad (kui IHL > 5)																															

Võrguaadress

- Võrkude sees ja -vahel andmete kohale toimetamiseks kasutatakse vastavat reeglistiku ehk Interneti Protokoll – IP (*Internet Protocol*).
- Kõikidel võrguseadmetel on lisaks „nimele“ ehk füüsilisele MAC aadressile ka „aadress“ ehk täpsemalt **IP aadress**.
- IP aadress koosneb neljast, omavahel punktiga eraldatud, arvust vahemikus 0 – 255:

193.40.254.28

- IP aadress jaguneb kaheks pooleks, esimene neist on **võrgu aadress** ja teine **võrgus oleva seadme oma**:

192.168.65.254

Võrgumask

- Seda, milline osa IP aadressist vastab võrgule ja milline võrguseadmele, näitab võrgumask (*subnet mask*).

192.168.65.254

255.255.255.0

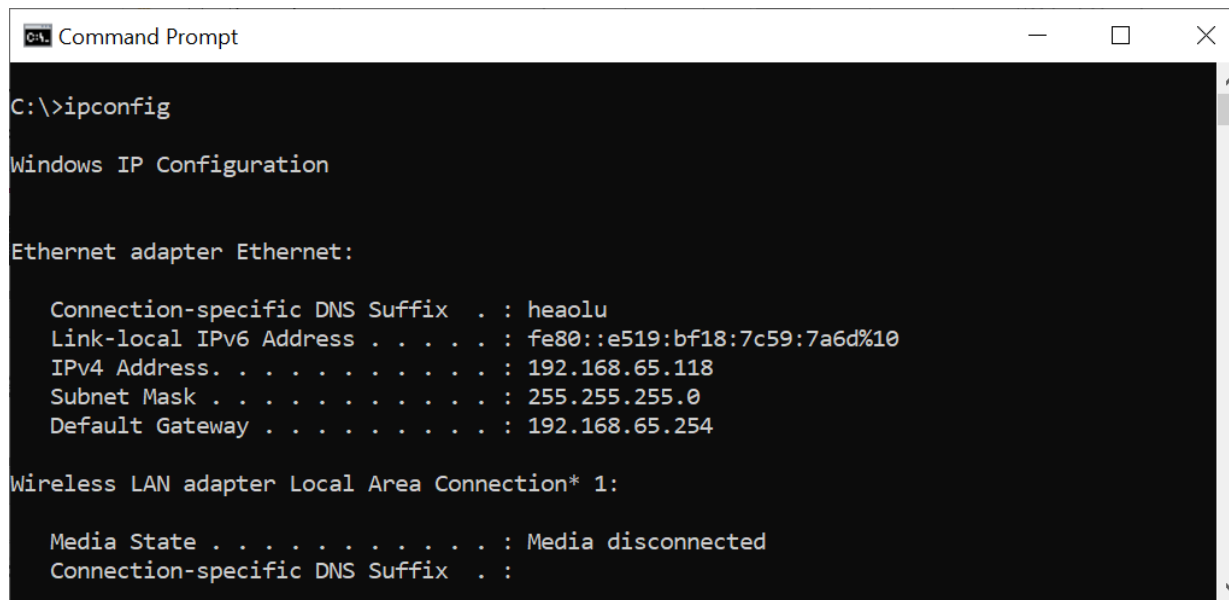
192.168.65.254/24

- Leviaadress (*broadcast*): 255.255.255.255
- Multiedastus (*multicast*): 224.0.0.0 – 239.255.255.255
- Tagasisidestusaadress (*loopback*): 127.0.0.0



Arvuti võrguseaded

- Arvuti võrguseadete vaatamiseks ja seadistamiseks saab kasutada *ipconfig* utiliiti.
- Enamasti kasutatakse automaatset seadistamist DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol*)



```
C:\>ipconfig

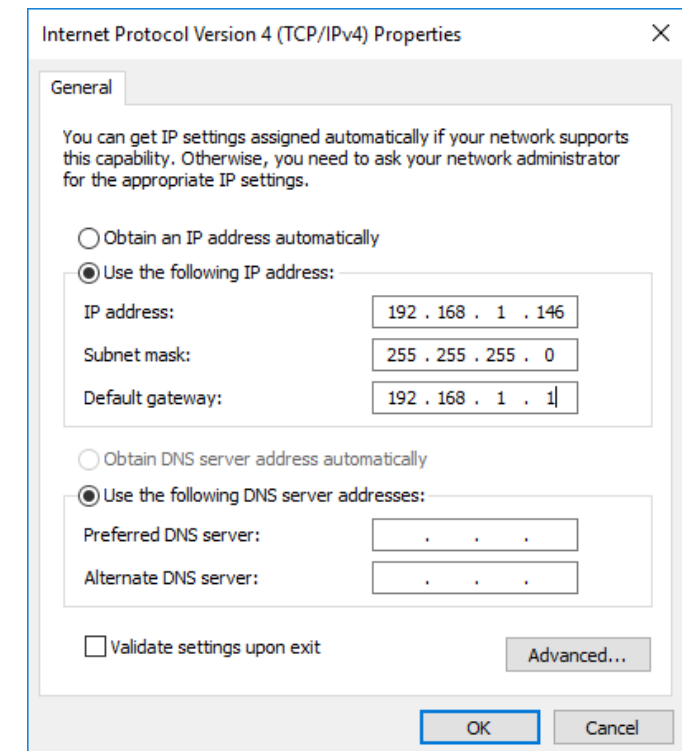
Windows IP Configuration

Ethernet adapter Ethernet:

    Connection-specific DNS Suffix  . : heaolu
    Link-local IPv6 Address . . . . . : fe80::e519:bf18:7c59:7a6d%10
    IPv4 Address. . . . . : 192.168.65.118
    Subnet Mask . . . . . : 255.255.255.0
    Default Gateway . . . . . : 192.168.65.254

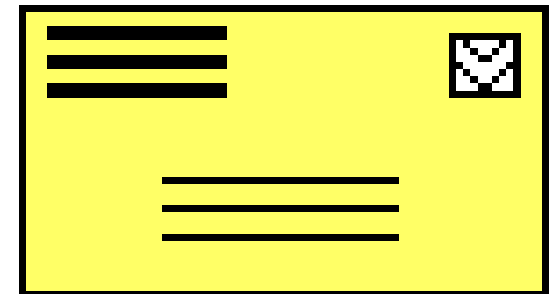
Wireless LAN adapter Local Area Connection* 1:

    Media State . . . . . : Media disconnected
    Connection-specific DNS Suffix  . :
```



IP aadresside hulk

- Võimalike IPv4 aadresse on kokku 2^{32} ehk ligikaudu 4,3 miljardit mida on juba ammu ilmselgelt liiga vähe.
- Võimalike lahenduste seas on olemasolevate aadresside „taaskasutus“ privaatvõrkudes või uue, suurema aadressiruumiga, IP protokoli IPv6 kasutusele võtmine.
- IPv6 aadress: 128 bitti esitatakse kuueteiskümneandervudena:
 - 2001:0db8:85a3:0000:0000:8a2e:0370:7334
 - 2001:db8:85a3:0:0:8a2e:370:7334
 - 2001:db8:85a3::8a2e:370:7334

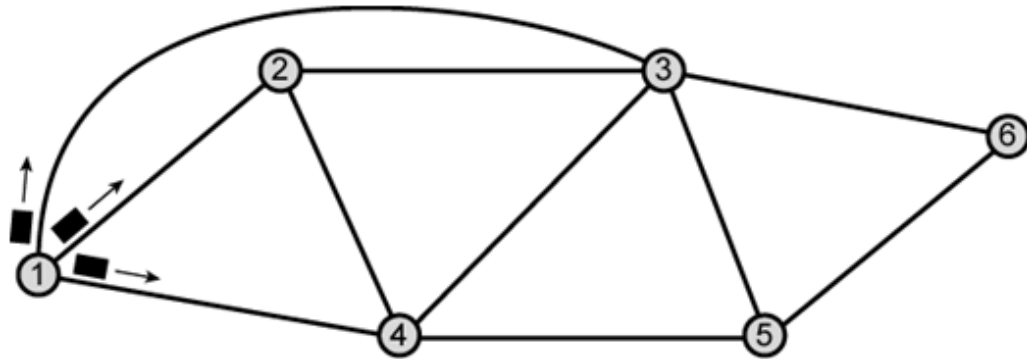


Privaatvõrk

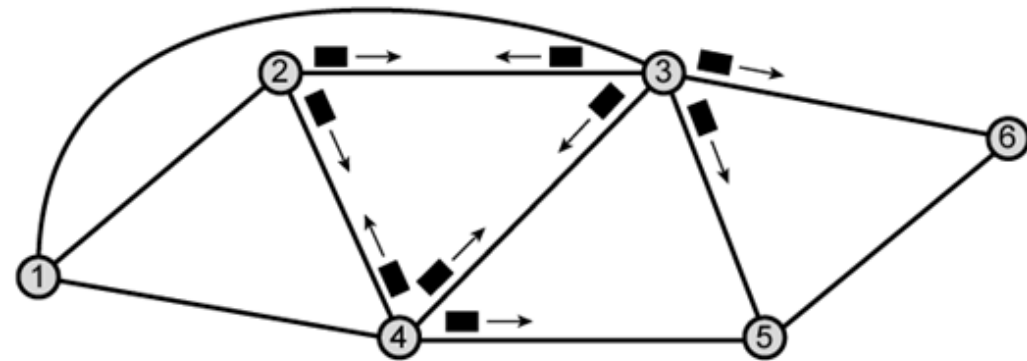
Esimene aadress	Viimane aadress	Marsruutimisprefiks (CIDR)
10.0.0.0	10.255.255.255	/8
172.16.0.0	172.31.255.255	/12
192.168.0.0	192.168.255.255	/16

- Mitmes erinevas kohtvõrgus võib kasutada samu aadressivahemike.
- Suhtlemiseks läbi interneti on vajalik kohtvõrgu aadressid teisendada unikaalseks IP aadressiks ja vastupidi.
- Sellega tegeleb NAT (*Network Address Translator*) protokoll.

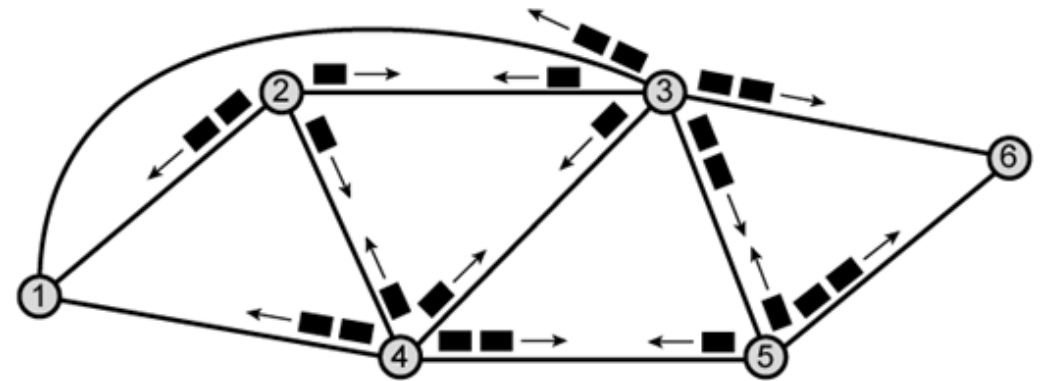
Marsruutimine



(a) Esimene hüpe



(b) Teine hüpe



(c) Kolmas hüpe

Transpordikiht



Transpordikihi funktsioonid

- Ühendusele orienteeritud side. Virtuaalne otsekanal alg- ja sihtpunkti vahel. Sõltumatus alumiste kihtide ülesehitusest ja protokollistikust.
- Segmentide õige järjekorra tagamine.
- Ühenduse usaldusväärsuse tagamine:
 - Segmendi kontrollsumma
 - Kinnitused ACK ja NACK
 - Vigaste/puuduvate andmete uuesti saatmine ARQ
- Vookontroll
- Võrgu ülekoormuse (*Congestion*) vältimine
- Rakenduskihi andmete multipleksimine (ISO-OSI sessioonikiht)

TCP segmenti päis

	okt	0								1								2								3							
okt	bitt	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
0	0	Allika port															Sihtkoha port																
4	32	Järjekorranumber <i>SN</i>																															
8	64	Kinnituse (ACK) number <i>AN</i>																															
12	96	Päise pikkus			0 0 0			N S	C W R	E C E	U R G	A C K	P S H	R S T	S Y N	F I N	Akna suurus <i>W</i>																
16	128	Kontrollsumma															URG viit																
20	160	Valikulised väljad (kui Päise pikkus > 5)																															

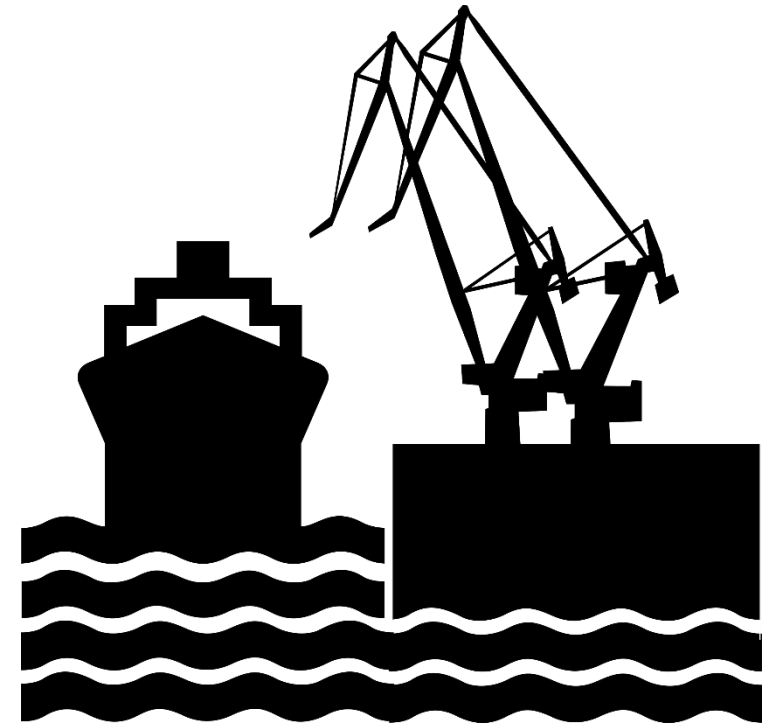
Usaldusväärse võrguühenduse korral

- Ühendus kohtvõrgus tagab andmete praktiliselt kaovaba kohaletoimetamise.
- Adresseerimine
 - Pordi number + IP aadress = sokkel (*socket*)
- Multipleksimine
 - Pordid
- Vookontroll
 - Libisev aken (SN, AN, W)
- Ühenduse loomine ja lõpetamine
 - (SYN, ISN)

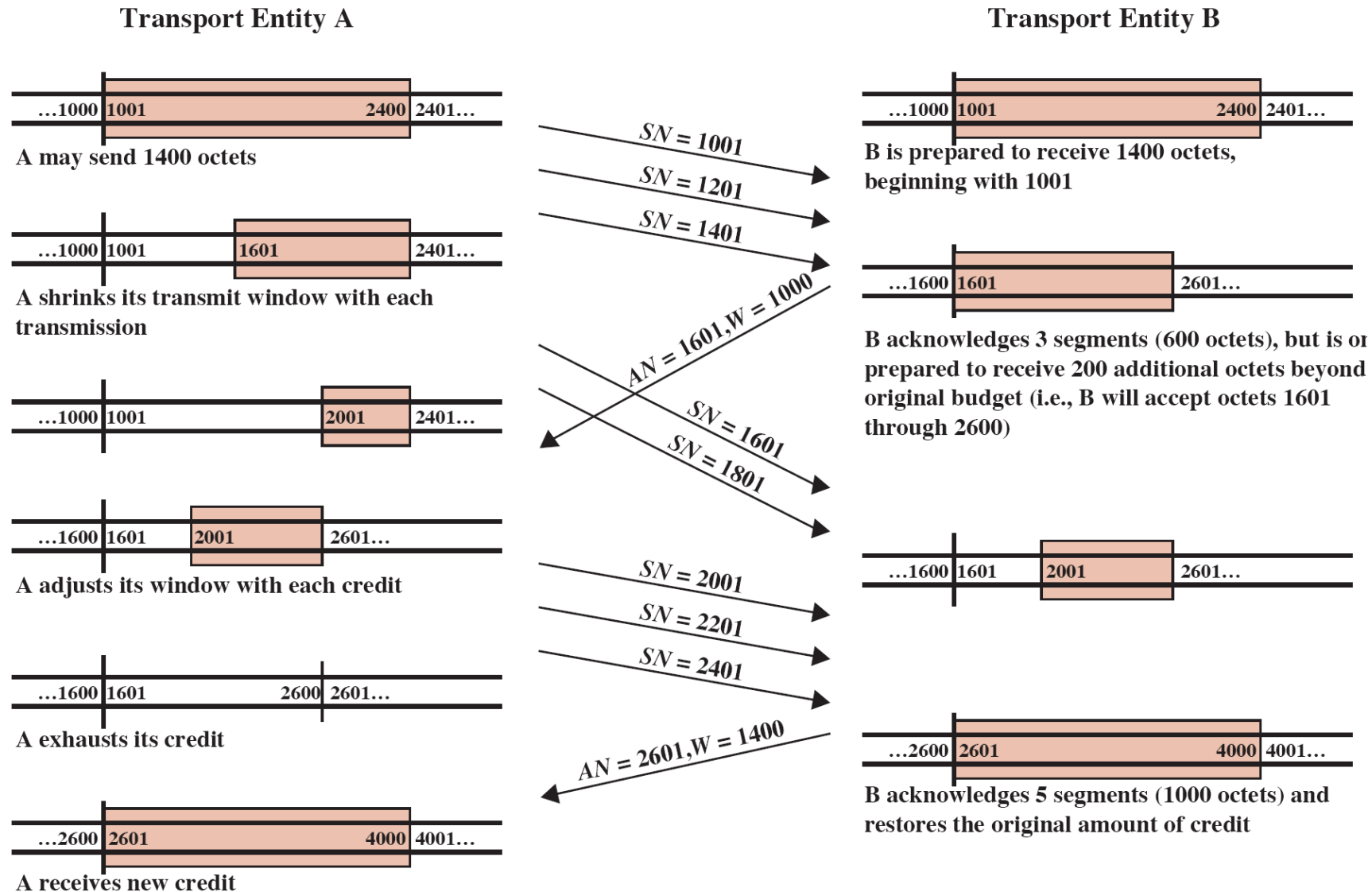


Port

- Pordid jagunevad kolme gruppi:
 - Üldtuntud pordid: 0-1023
 - Telnet 23
 - SMTP 25
 - FTP 20
 - HTTP 80
 - Registreeritud pordid: 1024-49151
 - Cisco HSRp 1985
 - Dünaamilised (privaatsed) pordid: 49152 - 65535



TCP krediidi ja otuse süsteem



http-ethereal-trace-3 [Wireshark 1.6.0 (SVN Rev 37592 from /trunk-1.6)]

File Edit View Go Capture Analyze Statistics Telephony Tools Internals Help

Filter: Expression... Clear Apply

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
1	0.000000	192.168.1.102	192.168.1.104	SNMP	92	get-request 1.3.6.1.4.1.11.2.3.9.4.2.1.2.
2	0.017277	192.168.1.104	192.168.1.102	SNMP	93	get-response 1.3.6.1.4.1.11.2.3.9.4.2.1.2.
3	3.017716	192.168.1.102	192.168.1.104	SNMP	92	get-request 1.3.6.1.4.1.11.2.3.9.4.2.1.2.
4	3.034929	192.168.1.104	192.168.1.102	SNMP	93	get-response 1.3.6.1.4.1.11.2.3.9.4.2.1.2.
5	4.602642	192.168.1.102	128.119.245.12	TCP	62	4272 > http [SYN] Seq=0 win=64240 Len=0 M
6	4.623285	128.119.245.12	192.168.1.102	TCP	62	http > 4272 [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1 win=58
7	4.623313	192.168.1.102	128.119.245.12	TCP	54	4272 > http [ACK] Seq=1 Ack=1 win=64240 L
8	4.623732	192.168.1.102	128.119.245.12	HTTP	555	GET /ethereal-labs/lab2-3.html HTTP/1.1
9	4.652711	128.119.245.12	192.168.1.102	TCP	60	http > 4272 [ACK] Seq=1 Ack=502 win=6432
10	4.657569	128.119.245.12	192.168.1.102	TCP	1514	[TCP segment of a reassembled PDU]
11	4.658792	128.119.245.12	192.168.1.102	TCP	1514	[TCP segment of a reassembled PDU]
12	4.658828	192.168.1.102	128.119.245.12	TCP	54	4272 > http [ACK] Seq=502 Ack=2921 win=64
13	4.680438	128.119.245.12	192.168.1.102	TCP	1514	[TCP segment of a reassembled PDU]
14	4.680920	128.119.245.12	192.168.1.102	HTTP	490	HTTP/1.1 200 OK (text/html)
15	4.680948	192.168.1.102	128.119.245.12	TCP	54	4272 > http [ACK] Seq=502 Ack=4817 win=64
16	4.882051	192.168.1.100	192.168.1.255	BROWSER	243	Host Announcement JULIE-ZJE0Q5XPY, workst
17	6.034469	192.168.1.102	192.168.1.104	SNMP	92	get-request 1.3.6.1.4.1.11.2.3.9.4.2.1.2.
18	6.051367	192.168.1.104	192.168.1.102	SNMP	93	get-response 1.3.6.1.4.1.11.2.3.9.4.2.1.2.
19	9.051209	192.168.1.102	192.168.1.104	SNMP	92	get-request 1.3.6.1.4.1.11.2.3.9.4.2.1.2.

Frame 14: 490 bytes on wire (3920 bits), 490 bytes captured (3920 bits)

Ethernet II, Src: LinksysG_da:af:73 (00:06:25:da:af:73), Dst: DellComp_4f:36:23 (00:08:74:4f:36:23)

Internet Protocol Version 4, Src: 128.119.245.12 (128.119.245.12), Dst: 192.168.1.102 (192.168.1.102)

Transmission Control Protocol, Src Port: http (80), Dst Port: 4272 (4272), Seq: 4381, Ack: 502, Len: 436

[4 Reassembled TCP Segments (4816 bytes): #10(1460), #11(1460), #13(1460), #14(436)]

Hypertext Transfer Protocol

Line-based text data: text/html

```

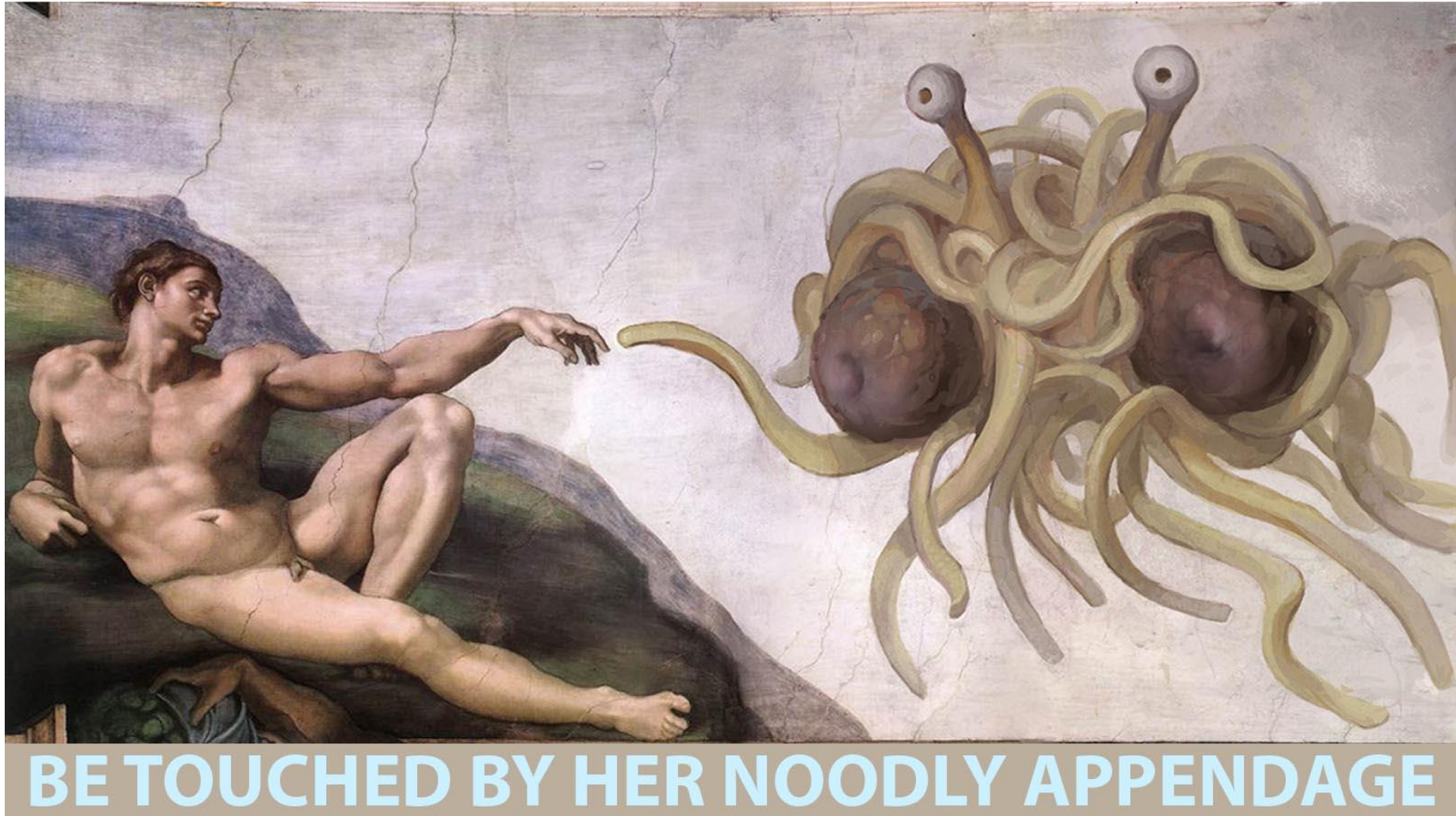
0000  00 08 74 4f 36 23 00 06 25 da af 73 08 00 45 00  ..t06#.. %.s..E.
0010  01 dc 21 71 40 00 37 06 e9 18 80 77 f5 0c c0 a8  ..!q@.7. ...w....
0020  01 66 00 50 10 b0 85 b2 bb 80 fb 98 e0 df 50 18  .f.P.... .....P.
0030  19 20 25 ab 00 00 3e 3c 68 33 3e 41 6d 65 6e 64  . %....< h3>Amend
0040  6d 65 6e 74 20 49 58 3c 2f 68 33 3e 3c 2f 73 74  ment IX< /h3></st
0050  72 6f 6e 67 3e 3c 2f 61 3e 0a 0a 3c 70 3e 3c 2f  rong></a >...<p></
0060  70 3e 3c 70 3e 54 68 65 20 65 6e 75 6d 65 72 61  p><p>The enumera
0070  74 69 6f 6e 20 69 6e 20 74 68 65 20 43 6f 6e 73  tion in the Cons
0080  74 69 74 75 74 69 6f 6e 7c 20 6f 66 20 63 65 72  titution . of cer

```

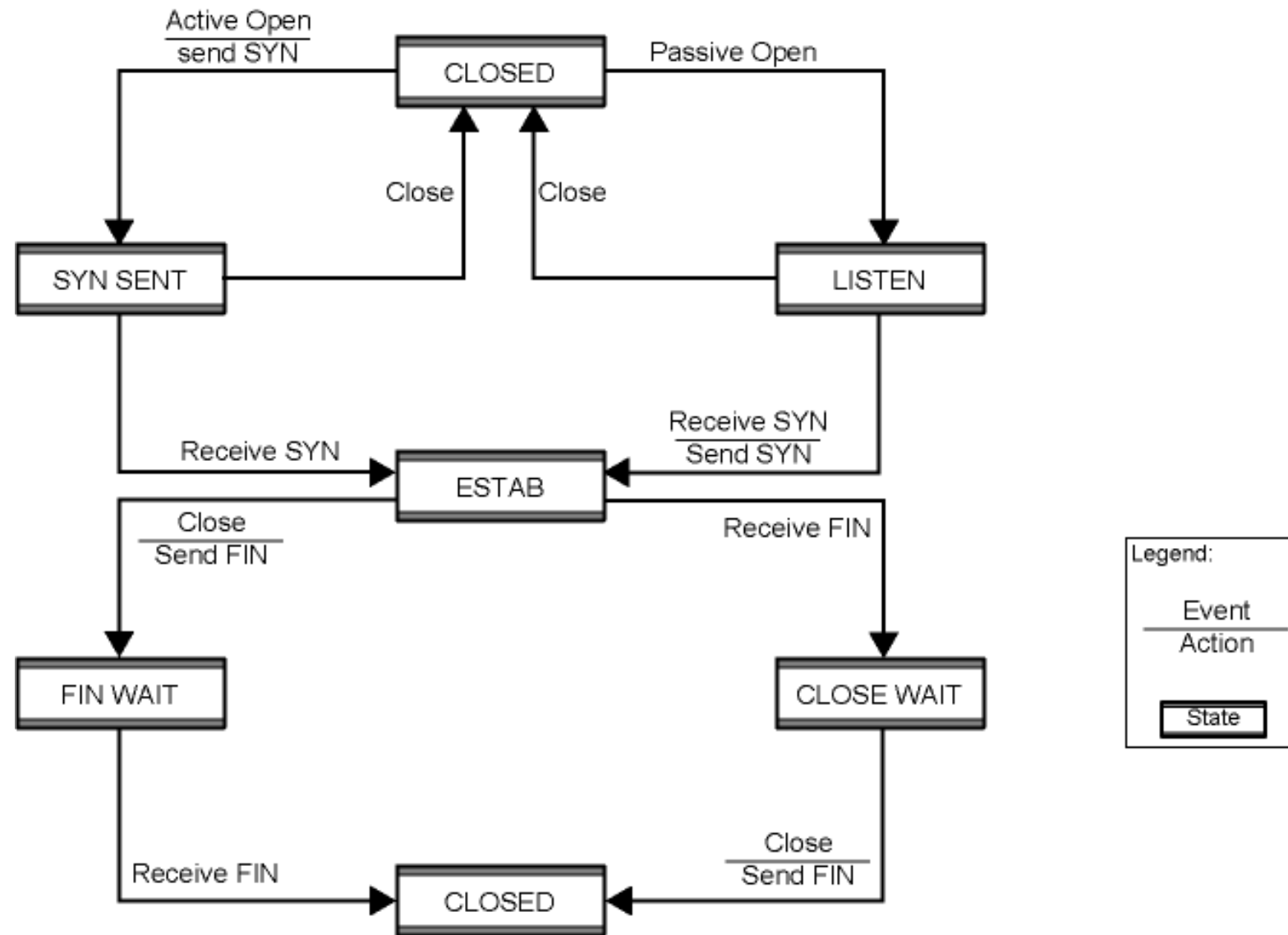
Frame (490 bytes) Reassembled TCP (4816 bytes)

File: "C:\Users\farrokh\Documents\Thesis\T... Packets: 19 Displayed: 19 Marked: 0 Load time: 0:00.001 Profile: Default

Lõplik olekumasin (*FSM*)

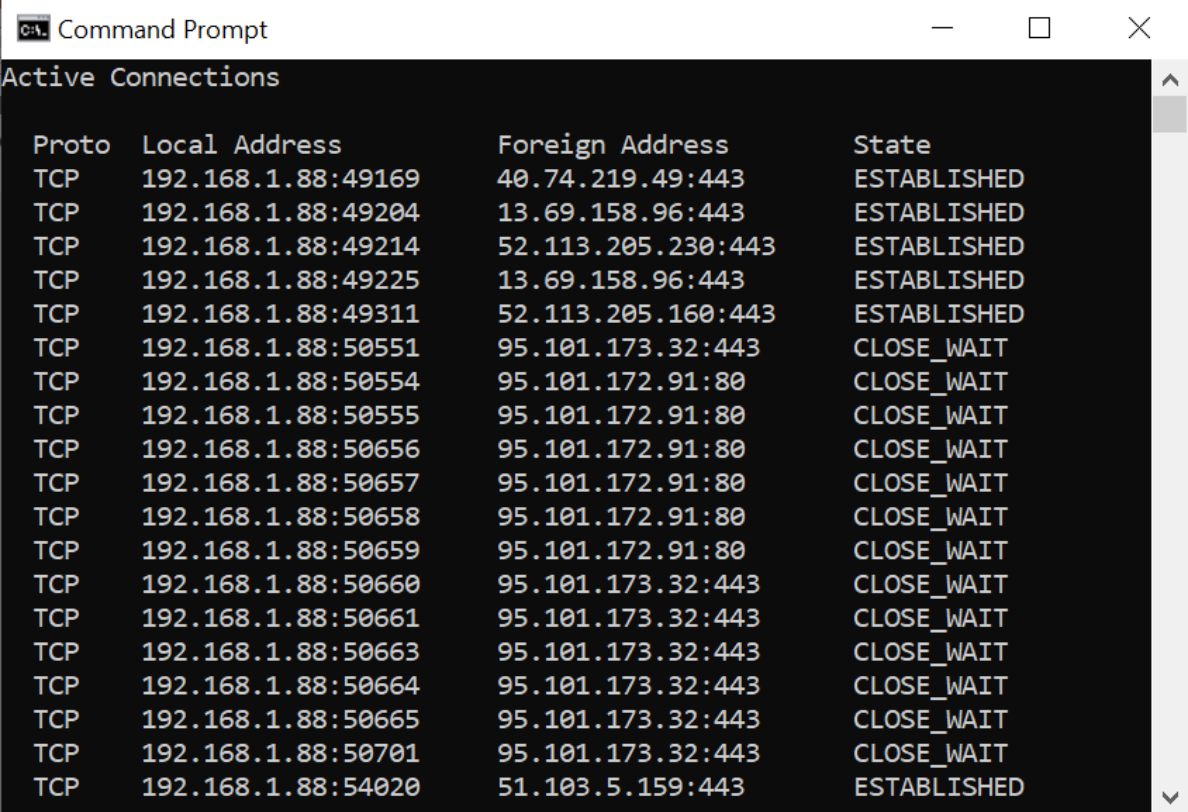


Lihtne TCP olekumasin



Ühenduste vaatamine

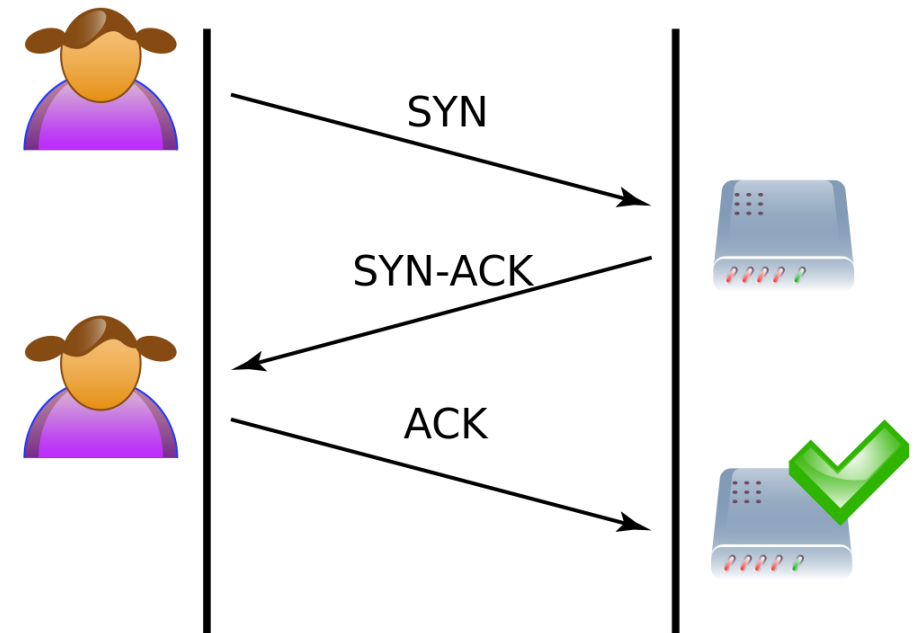
- Aktiivsete ühenduste vaatamiseks saab kasutada netstat utiliiti: *netstat -n*



Proto	Local Address	Foreign Address	State
TCP	192.168.1.88:49169	40.74.219.49:443	ESTABLISHED
TCP	192.168.1.88:49204	13.69.158.96:443	ESTABLISHED
TCP	192.168.1.88:49214	52.113.205.230:443	ESTABLISHED
TCP	192.168.1.88:49225	13.69.158.96:443	ESTABLISHED
TCP	192.168.1.88:49311	52.113.205.160:443	ESTABLISHED
TCP	192.168.1.88:50551	95.101.173.32:443	CLOSE_WAIT
TCP	192.168.1.88:50554	95.101.172.91:80	CLOSE_WAIT
TCP	192.168.1.88:50555	95.101.172.91:80	CLOSE_WAIT
TCP	192.168.1.88:50656	95.101.172.91:80	CLOSE_WAIT
TCP	192.168.1.88:50657	95.101.172.91:80	CLOSE_WAIT
TCP	192.168.1.88:50658	95.101.172.91:80	CLOSE_WAIT
TCP	192.168.1.88:50659	95.101.172.91:80	CLOSE_WAIT
TCP	192.168.1.88:50660	95.101.173.32:443	CLOSE_WAIT
TCP	192.168.1.88:50661	95.101.173.32:443	CLOSE_WAIT
TCP	192.168.1.88:50663	95.101.173.32:443	CLOSE_WAIT
TCP	192.168.1.88:50664	95.101.173.32:443	CLOSE_WAIT
TCP	192.168.1.88:50665	95.101.173.32:443	CLOSE_WAIT
TCP	192.168.1.88:50701	95.101.173.32:443	CLOSE_WAIT
TCP	192.168.1.88:54020	51.103.5.159:443	ESTABLISHED

Ebausaldusväärse võrguühenduse korral

- Segmentide õige järjekorra tagamine
- Retransmissioon
 - Vigane segment
 - Segment ei jõua kohale
 - (AN, taimer)
- Duplikaatide tuvastamine
- Vookontroll
- Ühenduse loomine ja katkestamine
- Tõrgetest toibumine
- Ülekoormuse vältimine



TCP

"Hi, I'd like to hear a TCP joke."

"Hello, would you like to hear a TCP joke?"

"Yes, I'd like to hear a TCP joke."

"OK, I'll tell you a TCP joke."

"Ok, I will hear a TCP joke."

"Are you ready to hear a TCP joke?"

"Yes, I am ready to hear a TCP joke."

"Ok, I am about to send the TCP joke. It will last 10 seconds, it has two characters, it does not have a setting, it ends with a punchline."

"Ok, I am ready to get your TCP joke that will last 10 seconds, has two characters, does not have an explicit setting, and ends with a punchline."

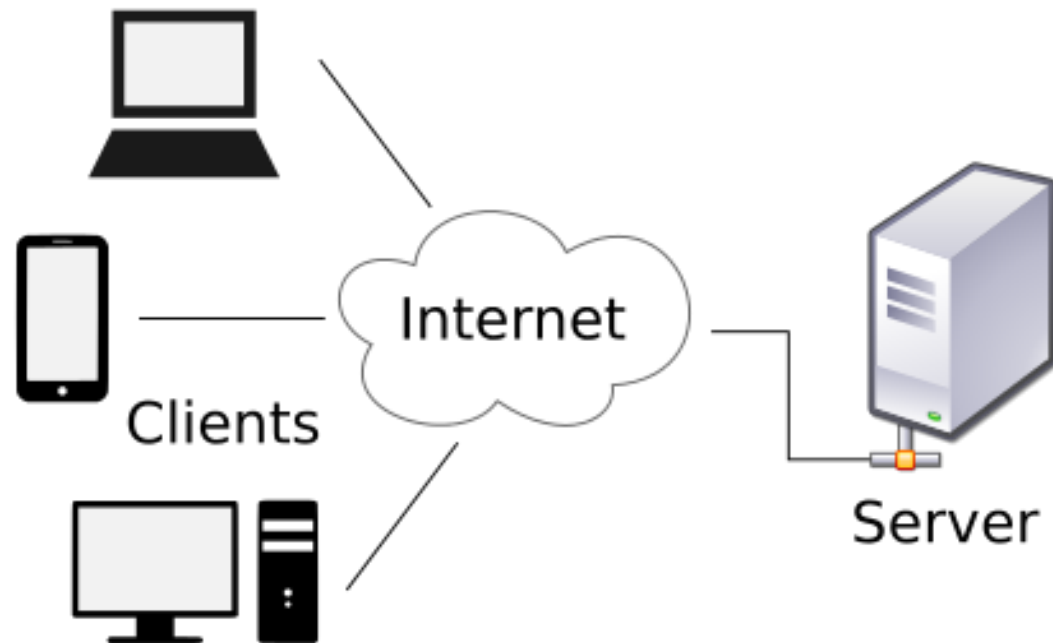
"I'm sorry, your connection has timed out."

...Hello, would you like to hear a TCP joke?"

UDP datagrammi päis

	okt	0								1								2								3							
okt	bitt	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
0	0	Allika port																Sihtkoha port															
4	32	Segmendi pikkus																Kontrollsumma															

Klient-server mudel



Sokkel (*Socket*)

Server

- Sokli loomine
`socket()`
- Sokli sidumine
`bind()`
- Ühenduse ootamine
`listen()`
- Ühenduse aktsepteerimine
`accept()`
- Andmevahetus

Klient

- Sokli loomine
`socket()`
- Ühenduse loomine
`connect()`
- Andmevahetus
`read()`
`write()`
`send()`
`receive()`

Lisalugemist

- W. Stallings. **Data and Computer Communications, International Edition.** Pearson Education Limited. 2014.

